

3. 事業の成果及び検証

3-1. 木炭水性ガス発生装置の製作と特性確認実験

3-1-1. 直接燃焼式での木炭水性ガスの発生実験

水性ガス発生装置にナラ炭 18[kg]を投入し、実験を開始した。

ガスの発生と内部の温度の関係を検証するため、温度計測用データロガーを用いて温度の変化を測定した。

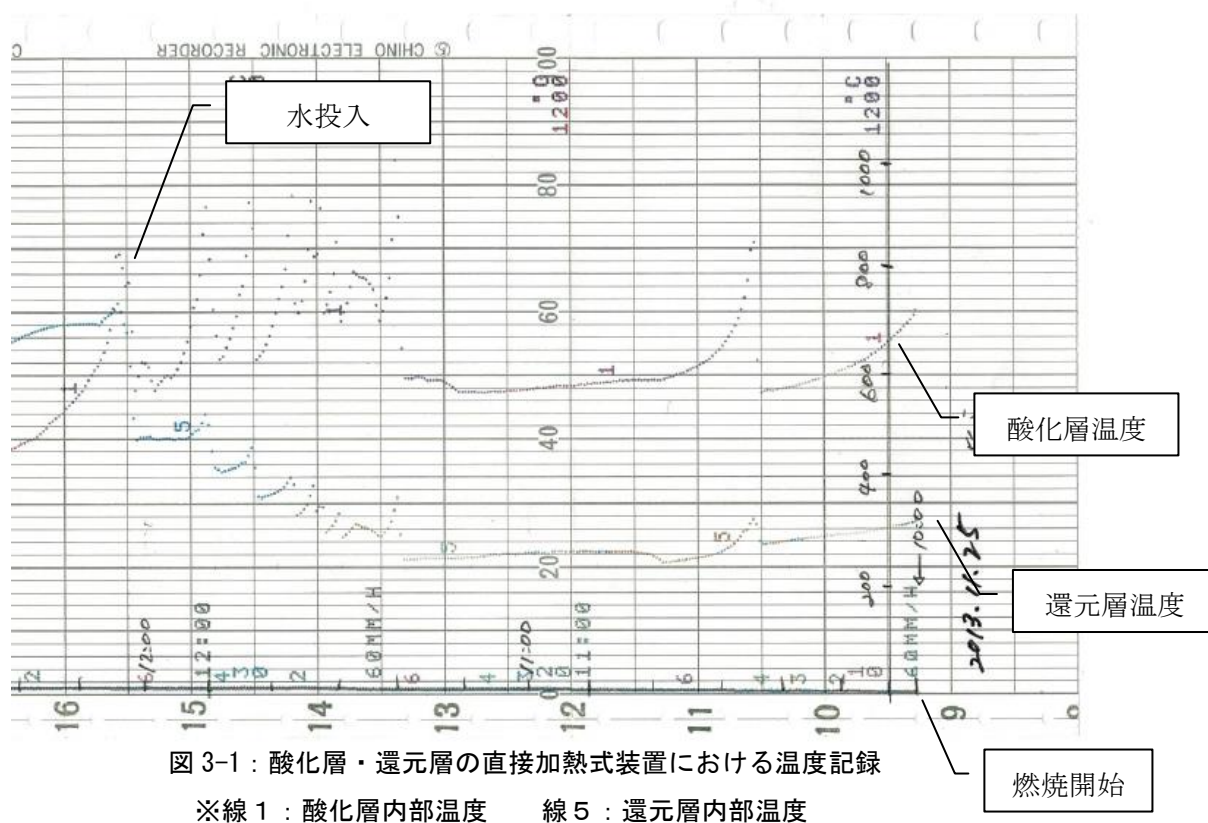


図 3-1：酸化層・還元層の直接加熱式装置における温度記録

※線 1：酸化層内部温度 線 5：還元層内部温度

① 温度上昇（着火から自然吸気）

着火後、酸化層の温度は瞬時に 700[°C]まで上昇する。その後、自然吸気で燃焼を続けると徐々に温度が下がる。この時、還元層も 300[°C]以下に留まり、それ以上温度が上昇しない。

② 温度上昇（送風機の使用）

着火から 25 分後、送風機（ブローア）で強制的に酸化層に空気を送り込み、酸化層の温度を上昇させた。酸化層の温度が 800[°C]を超えた時点で送風を停止する。

この時、酸化層の温度上昇と共に還元層の温度も 320[°C]程度まで上昇するが、送風を停止すると酸化層の温度低下に比例して温度が下がり続ける。

開始から 1 時間 30 分後、酸化層の温度は 600[°C]前後で維持し続けるが、還元層も 260[°C]前後に停滞する。

還元層が水性ガス反応を始める 600[°C]まで温度を上昇させるために酸化層内に送風し、層が破損しないよう 900[°C]以上になった場合は送風を止め、温度が下がったら再び送風するという工程を繰り返し、還元層の温度を 700[°C]まで上昇させた。

③ 水の投入による酸化層の温度

送風と停止を繰り返し、開始後 2 時間で還元層の温度が 740[°C]まで上昇したので、水の投入を開始する。直接燃焼している酸化層 (840[°C]) に常温の水 (20[°C]) を投入する方式のため、酸化層の温度は水の投入量に敏感に反応し、10 分間で 840[°C]から 540[°C]まで約 300[°C]低下する。

④ 水の投入による還元層の温度

水の投入により酸化層の温度が急激に低下するのに対し、一旦温度が上昇した還元層は 700[°C]前後に留まりながら水性ガスを発生させ続ける。

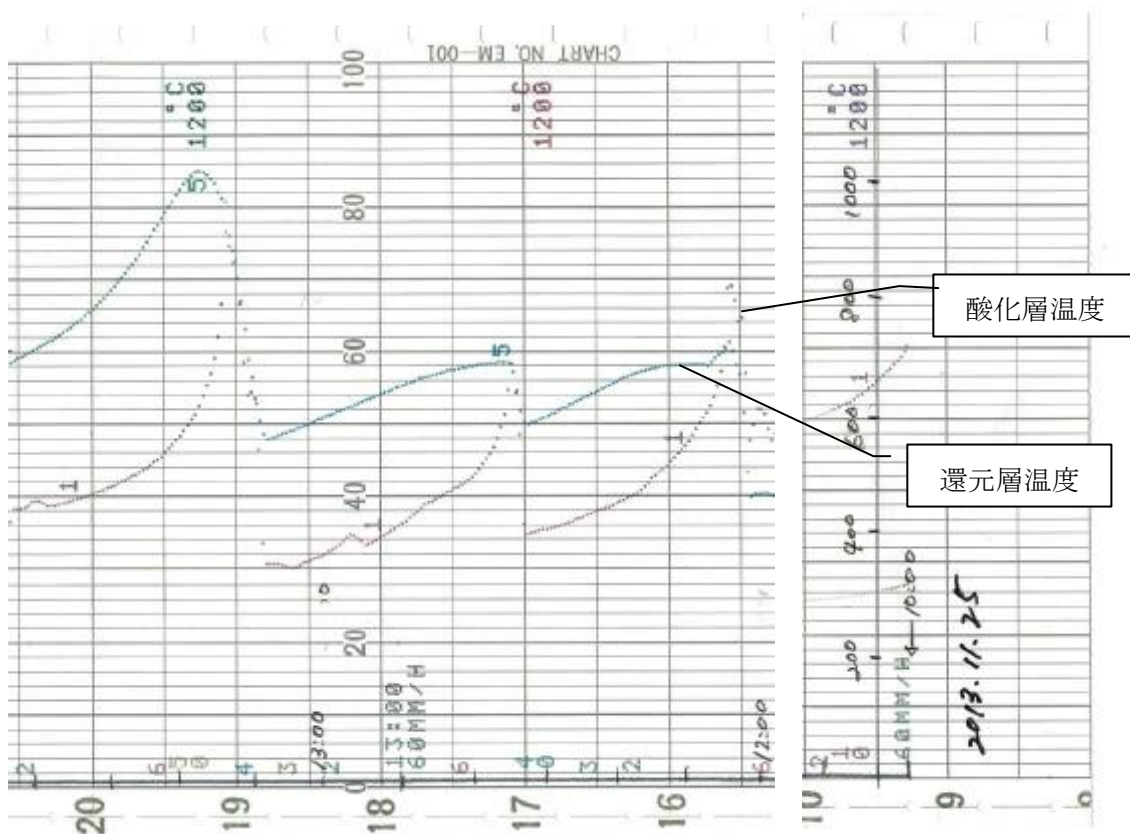


図 3-2 : 水投入後の温度変化の様子

⑤ 水性ガスの発生状況

水性ガスが発生 (ガスの着火確認) してから 30 分後、還元層の温度が 600[°C]とな

り、ガスが失火する。ただし、水蒸気を多く含む水性ガスは発生し続ける。この時着火確認を行ったが、着火はしなかった。

⑥ 再度の温度上昇（送風機の使用）

再び酸化層に送風して温度を上昇させると、還元層も温度が上昇し、酸化層・還元層共に 700[°C]になった時点で着火させると水性ガスは再び点火した。

発生した水性ガスに点火後、酸化層の送風を止めて経過を観察すると、35 分間燃焼し続けた。燃焼が止まった時点での還元層の温度は 580[°C]であった。

⑦ 失火後の再加熱（送風機の使用）から再点火・水素発生適温条件下での失火

さらに酸化層に送風して再加熱し、酸化層・還元層共に 1000[°C]前後まで上昇させた。

水性ガスは当然着火し、30 分程度燃焼し続けるが、突如失火した。この時還元層の温度は 700[°C]程度を維持しているが着火しなかった。温度上昇を数回繰り返したが、再着火はしなかった（図 3-3 の横軸 21 前後）。

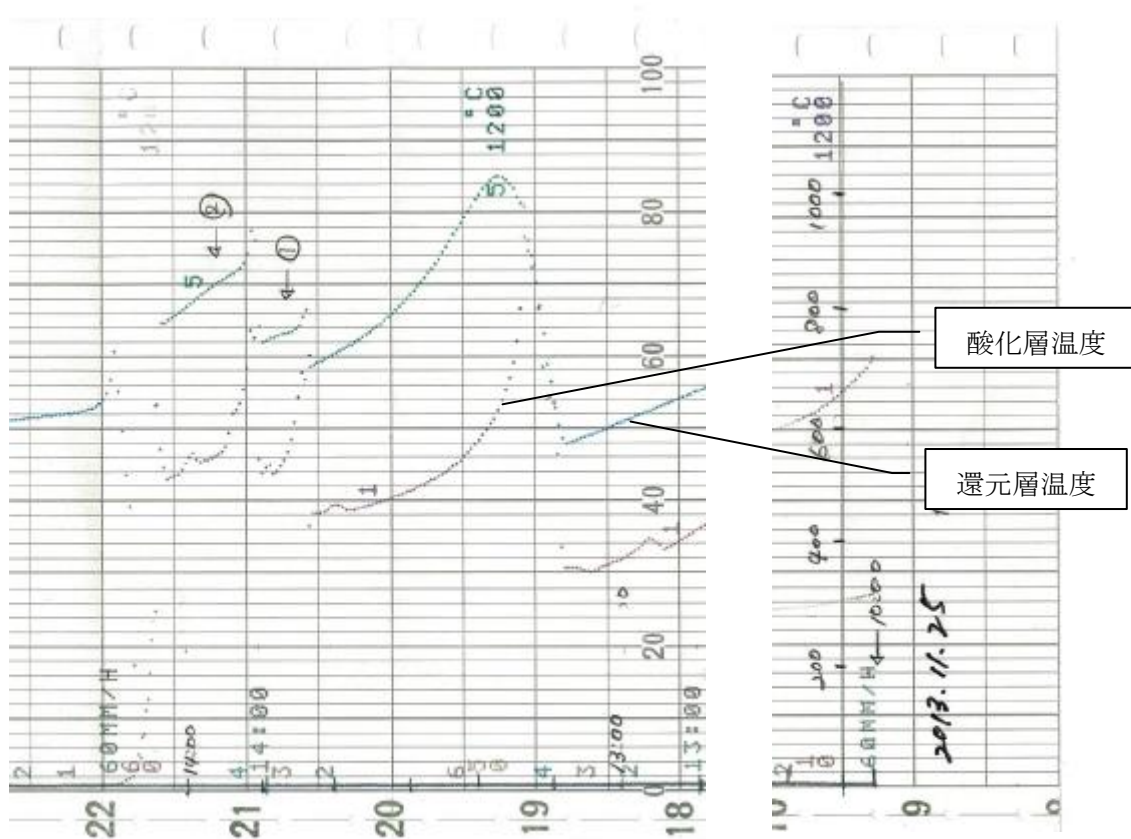


図 3-3：再加熱後の温度変化の様子

⑧ 木炭の減少量

燃焼試験翌日、還元層を確認すると、木炭投入量 18[kg]に対し、残った炭は 12.6[kg]であり、5.4[kg]減少していた。

【考察】

いまだ炭が残っていて還元層内の温度が高かったにも関わらず水性ガスが発生しなかった原因は、還元層内で反応した炭の反応部分が欠落し、空洞となるブリッジ現象が生じていたためと考えられる。直接加熱式・間接加熱式共々、燃焼中に還元層を何らかの方法で攪拌・圧縮させる方法について検討が必要である。

3-1-2. 直接燃焼式での水性ガス組成分析

理論値の組成と比較するため、ガスサンプリングを行った。組成を図 3-4 に示す。

木炭水性ガス 組成分析

単位: vol%

項目／試料名	木炭水性ガス(11月25日採取分)
水素	20
酸素	<0.01
窒素	53
メタン	1.6
一酸化炭素	8.8
二酸化炭素	12

図 3-4：木炭水性ガス組成分析の結果（直接加熱式）

※注 1：株式会社住化分析センター千葉営業所による分析

※注 2：採集サンプルは平成 25 年 11 月 25 日（喜連川実験場）、ナラ炭である

図 3-4 の結果では、水素と一酸化炭素の比率が 2.3 : 1 となっており、理想値の 3 : 1 よりも水素の割合が低い。これは水性ガス発生時の水の量及び還元層内の反応温度が関わっていると考えられる。

尚、水性ガスの成分に 53[%]の N₂が含まれているのが確認された。N₂の含有は、空気を送り込んで燃焼・加熱させる酸化層と水性ガス反応が行われる還元層が分離されていない直接燃焼式では避けられない。水素のみを取り出して発電させる非エンジン式の場合には間接燃焼式の方が望ましいと考えられる。

3-1-3. 間接燃焼装置での木炭水性ガスの発生実験

① 木炭投入量

酸化層への投入量は 240[kg]（ナラ炭等）

還元層への投入量は 45[kg]（スギ炭）

② 水の投入

酸化層に着火後、還元層の中部の温度が 900[°C]程度に上昇するのを待ち、水の投入を開始した。(12時20分) 水の量は徐々に調整し、還元層の温度が下がらないように調整しながら 0.55 l/min の量に調整し、定格容量 6 m³/min の吸引ブローアでガスを取り出し燃焼を持続させた。

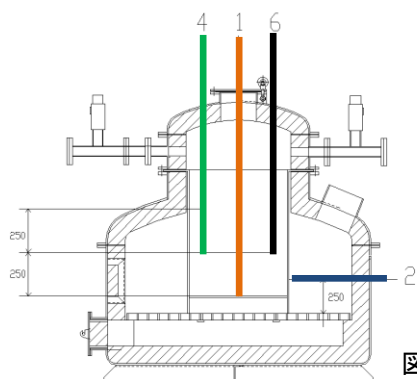
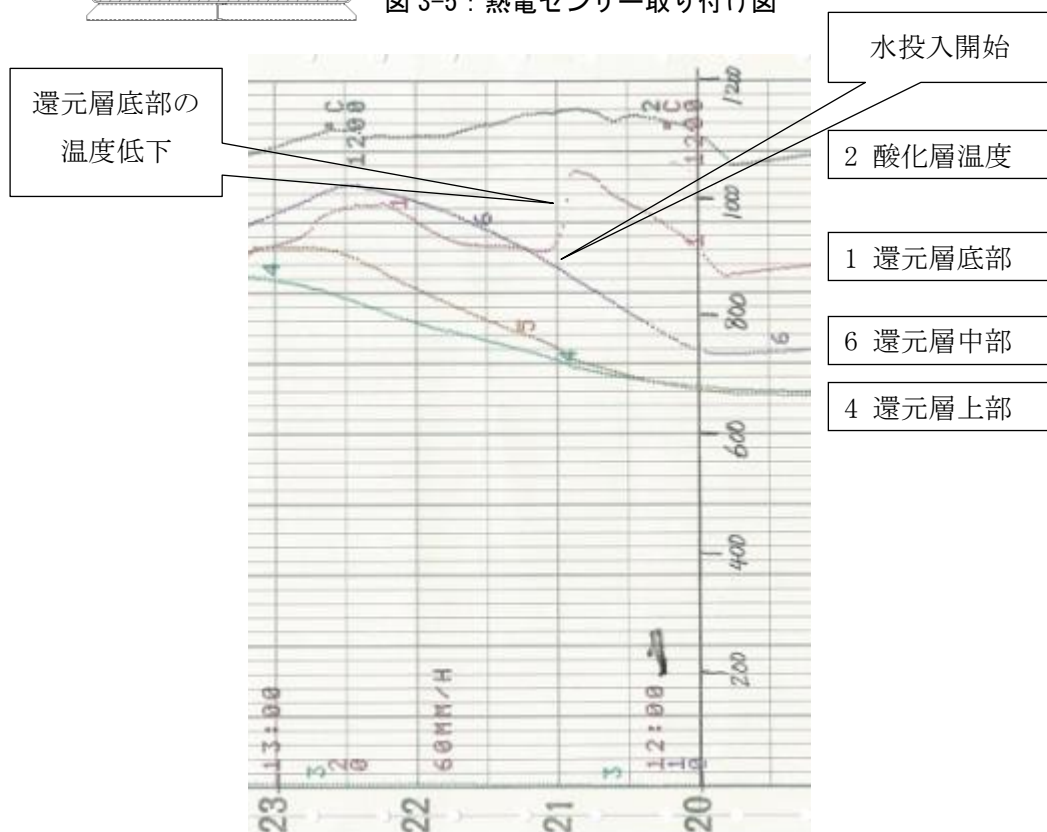


図 3-5 : 熱電センサー取り付け図



水投入後、還元層底部の温度は 900[°C]前後迄約 100[°C]低下するが、発生水性ガスの安定した燃焼を確認しながら、それ以上温度が下がらないように水の量を調整すると、還元層各部の温度は徐々に上昇し続けた。

③ 水性ガスの採取

水投入 10 分後、水性ガスの吸引試験を行った。吸引試験は 1 回につき 3 箇所の部分で採取を行い、図 3-7 に示す通り、①水性ガスの生データ、②CO-CO₂ 前処理後のデータ、③ガス分離装置 (PSA^注) 改質後のデータを測定した。

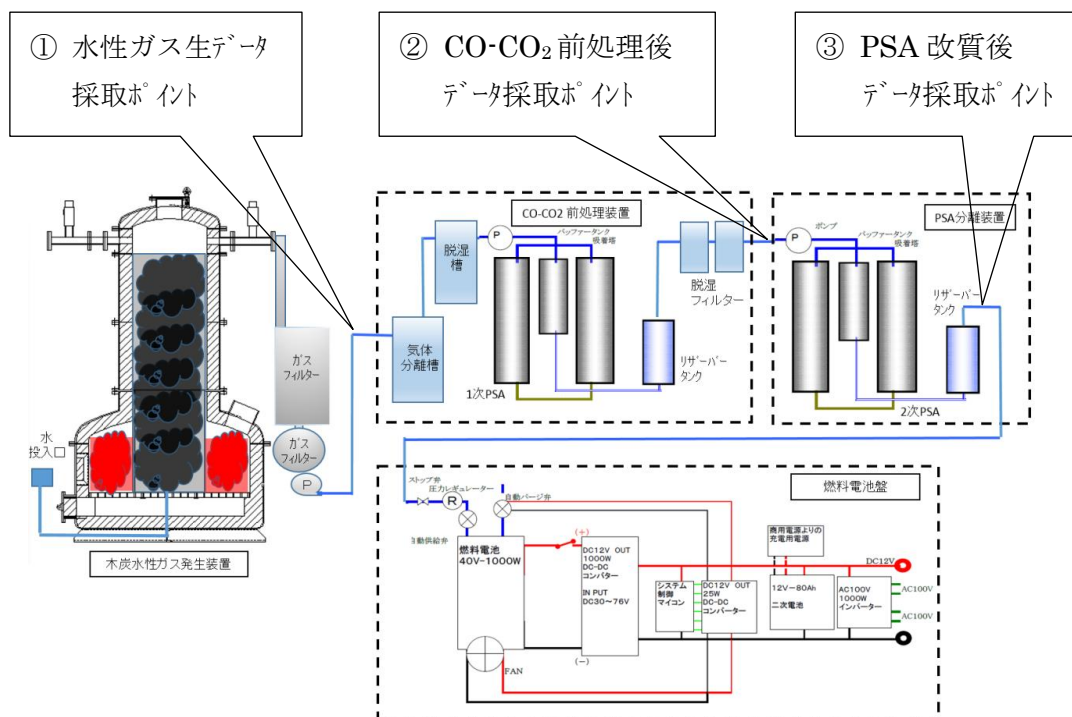


図 3-7 : ガスサンプリングポイント

④ 水性ガスの失火

酸化層に着火後、0.55[ℓ/min] の水量で、定格容量 6[m³/min] の吸引ブローアでガスを取り出し燃焼をし続け、16 時 00 分迄燃焼が継続した。(3 時間 40 分)

着火 50 分後、還元層内の温度は一時 1000[°C]迄上昇した。その後緩やかに温度の低下が始まり、3 時間 40 分後には 800[°C]迄低下した。温度変化を図 3-8 に示す。

注 PSA : Pressure Swing Adsorption (圧力変動吸着) の略



図 3-8：木炭水性ガス発生装置内温度

3-1-4. 間接加熱式での水性ガスの組成分析

図 3-7 のサンプリングポイントにおいて採取した水性ガスの組成分析を図 3-9 に示す。

木炭水性ガス 組成分析

項目／資料名	①水性ガス 生データ	② CO-CO ₂ 前 処理後データ	③ PSA改質後 データ
水素	52.0	82.0	49.0
酸素	0.1	0.1	20.0
窒素	0.3	0.4	31.0
メタン	2.0	1.2	0.1
一酸化炭素	28.0	16.0	0.1
二酸化炭素	17.0	0.1	0.1

図 3-9：木炭水性ガス組成分析の結果（間接燃焼式）

※注 1：株式会社安全研究センター（富山市）による分析

※注 2：採集サンプルは平成 26 年 2 月 21 日（ムライ鉄工所）、スギ炭である

PSA 改質後の方が改質前よりも水素濃度が減少し、酸素・窒素が混入しているが、この時燃料電池システムでの発電を確認した。この結果については、後述する 3-2-2 項で考察する。

3-2. 小型燃料電池への接続および発電試験

3-2-1. 木炭水性ガスの改質

① CO・CO₂の除去装置

木炭水性ガスに含まれる成分を分析し、固体高分子型燃料電池を用いて発電させるにあたって有害となる CO・CO₂を除去する装置を設計・製造し、取り付けた。

前処理装置にて CO 変成触媒・CO₂沈殿を行い水素の純度を上げる。更に PSA 装置で残存の CO・CO₂の分離をし、より水素純度を上げる。



写真 24 : CO・CO₂ 除去装置



写真 25 : CO₂ 除去 PSA 装置

② N₂の除去装置

直接燃焼式の水性ガス組成分析の結果、大量の窒素が含まれることが分かった。間接燃焼式でも窒素の混入はゼロにはならないと考えられるため、あらかじめ N₂の除去装置を追加することとした。

3-2-2. 燃料電池での発電

① 水性ガス精製

今回開発・製造した燃料電池発電システムは、供給される水性ガスの H₂の純度を上げるために、H₂以外の成分を繰り返しパーズさせるシステムとなっている。図 3-9 に示した 2 月 21 日の PSA 改質後の成分では、農奴的に発電しないようにも見えるが、上述した特徴により H₂の濃度を発電可能な純度に高めたことで発電を可能とした。

具体的には、10[l]容器を内蔵して木炭水性ガスを置換させている。生ガスを 10[l]発生させると、2[l]の生ガスと 10[l]の空気の圧縮気体となる。この時、空気濃度は 50[%]で、生ガス濃度も 50[%]となる。これを何度か繰り返すと空気の濃度が薄まり、生ガス濃度が上がるが、50[%]程度の生ガス濃度でスタートした場合、H₂の純度を 99[%]以上にするには、最低でも 70[l]程度のガスをパーズ（廃棄）する必要がある。

生ガス供給量	残存空気濃度	生ガス濃度
10L	50.00%	50.0%
20L	25.00%	75.0%
30L	12.50%	87.5%
40L	6.25%	93.8%
50L	3.13%	96.9%
60L	1.56%	98.4%
70L	0.78%	99.2%
80L	0.39%	99.6%
90L	0.20%	99.8%
100L	0.10%	99.9%

図 3-10 : 純度を上げるためのパーージ量

② ガス分離状況

図 3-9 の組成分析を図 3-11～図 3-13 に円グラフで示す。

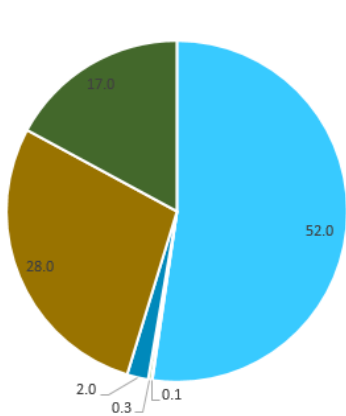


図 3-11 :
水性ガス (生ガス)

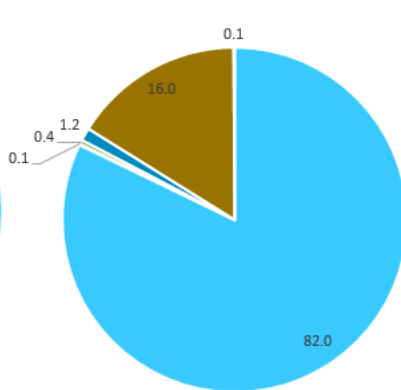


図 3-12 :
CO・CO₂ 前処理後

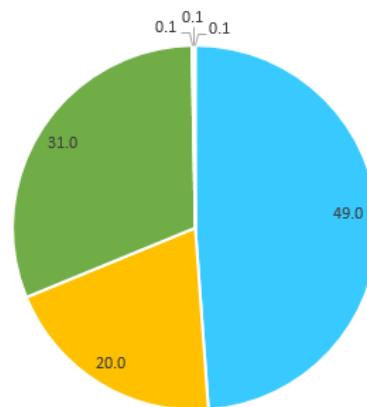


図 3-13 :
PSA 処理後

- 水素
- 酸素
- 窒素
- メタン
- 一酸化炭素
- 二酸化炭素

本組成分析実施時の PSA 処理後に酸素、窒素が増加し、水素が減少している現象は、前処理工程のパージ量よりも PSA のパージ量が上回ったことで大気を吸引してしまったことが原因と考えられる。

このため、分析後に前処理工程の吸引ポンプの能力を上げ、PSA のパージ量を調整した。

③ 燃料電池発電試験

上記の調整後、2月27、28日に最終的な発電試験を実施した。

1[kwh]発電に必要な H₂ は約 500[l] (メーカー値) で、そのためには 8.3[l/min]の H₂ 量の確保が必要となる。

本事業では、時間及び予算の関係で水性ガスの組成分析回数が限られたものになってしまったため、酸化層の熱供給バランスの検証と水性ガス発生量の検証は行わず、最低量の水供給 (温度を低下させずに水性ガスを発生させる) 条件で検証を行った。

また、限られた炭の量で検証を行うため、計画では3層で行う予定だったガス発生試験を1層で行うこととし、1度に還元層に投入する炭の量を 45[kg]に限定したため、安定した水性ガスの発生時間が約4時間と限られたものになった。このため、当初予定していた24時間の連続運転を変更し、4時間の安定的なガス発生及び発電を行うこととし、最終試験において確認した。



写真 26 : 最終発電試験の様子

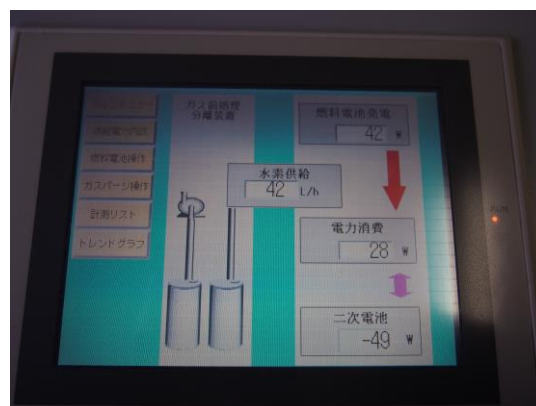


写真 27 : 燃料電池の発電状況

3-3. 結果考察と目標の対比

3-3-1. 木炭水性ガス発生装置の製作と特性確認実験に関する考察

【当初の目標】

木炭1トンあたりに対するガス発生量を特定し、既存文献（木炭1トンあたりの木炭水性ガス発生量4,000[m³]）と比較する。

ガス組成比を分析し、既存文献（H₂：約60[%]・CO：約20[%]）と比較する

【結果考察】

ガス組成	MW	vol%	L/m ³	g-mol	g	炭素量g	酸素量g
H ₂	2	52.0	520	23.2	46.4		
CO	28	28.0	280	12.5	350.0	150.0	200.0
CO ₂	44	17.0	170	7.6	333.9	91.1	242.9
CH ₄	16	2.0	20	0.9	14.3	10.7	
O ₂	32	0.1	1	0.0	1.4		1.4
N ₂	28	0.3	3	0.1	3.8		
その他		0.6	6	0.3			
合計		100.0	1,000		749.8	251.8	444.3

図3-14：2014.2.21のガス組成分析に基づく実験データ解析

木炭水性ガス組成の実験データ解析の一部を図3-14に示した。このデータ推計から木炭1[kg]あたりの水性ガス発生量を計算すると、

$1000[\text{l}] \div (251.8[\text{g}] \div 79[\%])$ （木炭の炭素含有率）=3.138[m³/kg-木炭]である。

これを木炭1トンあたりに換算すると3,138[m³/t-木炭]となる。

木炭投入量（220minで32kg）が0.145kg/minなので、1分当たりの水性ガス発生量は0.456m³/minとなる

また、理論的には、木炭1kg当りの水消費量は

$498.6\text{g} \div (241.2\text{g-C} \div 79\%)$ （79%炭素含有率）=1.633g(L)/kg-木炭。

水投入原単位は、水投入：0.55L/min÷反応木炭量：145kg/min=3.793kg（L）/kg-木炭で、水投入量は計算消費量の約2.3倍である

水素量を図3-14のデータから推測すると、

$0.456\text{m}^3/\text{min} \times 220\text{min} \times 52\% = 52.2\text{m}^3$ となる。

3-3-2. 発生した水性ガスの小型燃料電池への供給・検証

【当初の目標】

発生した水性ガスの小型燃料電池（固体高分子型・1[kW]クラス）への24時間以上の実用的連続運転を確認する。

【結果考察】

燃料電池発電に必要な理論上の燃料ガス（ここでは水素 H₂）流量は、 $Q = m F z$ の式から求められる。ここで、 Q ：電荷[C] = 電流[A] × 時間[sec]、 m ：モル数[mol]、 F ：ファラデー常数（ 9.6×10^4 [C/mol]）、 Z ：イオン価数とする。

従って、面積 $1[\text{cm}^2]$ の燃料電池を $1[\text{A}/\text{cm}^2]$ 電流密度で $1[\text{min}]$ 通電した時の必要ガス量は、 $V = 22.4[\text{l}/\text{mol}] \times 1[\text{A}/\text{cm}^2] \times 60[\text{sec}] \times 1/96,500[\text{C}/1\text{mol}] \times 1/2$ (価数) = $6.96[\text{ml}] \approx 7.00[\text{ml}]$ となる。

一方、本実験に供する燃料電池（固体高分子型）による、発電電力[kWh]あたりに必要な水素ガス量データとして、約 $500[\text{l}]$ （メーカー仕様値）がある。

実験データ解析値とこの $500[\text{l}/\text{kWh}]$ ($0.5\text{m}^3/\text{kWh}$) 値を基に発電総電力量求めると、上述から $113.4 [\text{m}^3] / 0.5 [\text{m}^3/\text{kWh}] \approx 226.8.0 [\text{kWh}]$ となる。

この場合の木炭消費量は還元層分 $32 [\text{kg}]$ 、間接加熱（酸化層）部投入量 $240[\text{kg}]$ 中還元層に関与した量を $25[\%]$ と仮定すると、木炭の総消費量は、 $32[\text{kg}] + 240[\text{kg}] \times 25[\%] = 92[\text{kg}]$ ($0.092 [\text{t}]$) になる。

この検討値を木炭 $1 [\text{t}]$ 当たりの総発電量に換算すると、 $P = 226.8 [\text{kWh}] \times 1[\text{t}] / 0.092[\text{t}] \approx 2465.0[\text{kWh}]$ (約 $8.87[\text{GJ}]$) となり、木炭水性ガスをエンジンに供給して発電した場合の試算値。これは、木炭水性ガス中に含まれる水素成分のみの発電における理論値である $8.4[\text{GJ}/\text{t}]$ (和田学位論文) に類似する。

さらに、木炭水性ガス中に含まれる一酸化炭素 (CO) $28[\%]$ (実験データ) から、一酸化炭素 (CO) $0.280[\text{m}^3]$ (木炭水性ガス $1[\text{m}^3]$ 当たり) を高温水蒸気改質しさらに水素(H₂)ガスを作れば発電電力量の上積を期待できると考えられる。

また、還元層の要領の関係で安定なバッチ運転は 4 時間単位となったため、6 回以上実験を行った。連続運転時間は還元層の大きさで定まるため、層を 3 層にすれば 24 時間運転に対応できると考えられるが、実験における炭量やガス分析等の制限から、当初予定の 24 時間ではなく、4 時間の連続運転の確認に変更し、実験を行った。

3-4. 各地における炭窯の調査

【当初の目標】

大型窯及び中規模窯の連携システムの調査を行い、本事業の実装地域（陸前高田市生田地区）の条件に即した炭窯の候補を選定する。また、木炭の生産・流通・利用の現状を調査し、炭の安定供給のための仕組みを考察する

3-4-1. 生田地区における過去の製炭状況

2-3 項にて前述した通り、生田地区においては製炭業が基幹産業であった。2007 年頃調査した製炭窯の位置図を引用し、図 3-15 に示す。

これらの窯は典型的な岩手窯であり、約 30 俵前後の中規模である。図 3-4 に示す各窯は地域の区域別に存在する洞沿い、ならびに各洞出口近傍に存在し、合計 16 基であった。

地域住民はこれらを伝統的に運用しているが、近年製炭者（匠）の高齢化により休止していく数が増している。このような状況の中、従来地域住民の手で展開してきた木炭水性ガスによるエンジン式発電に加え、非エンジン式（燃料電池）発電システムを地域に導入するに際し、大型窯製作・設置計画を進めるもので、炭という要素面で地域の文化・生活習慣といかに整合するものを作るかが1つの課題と考えられる。

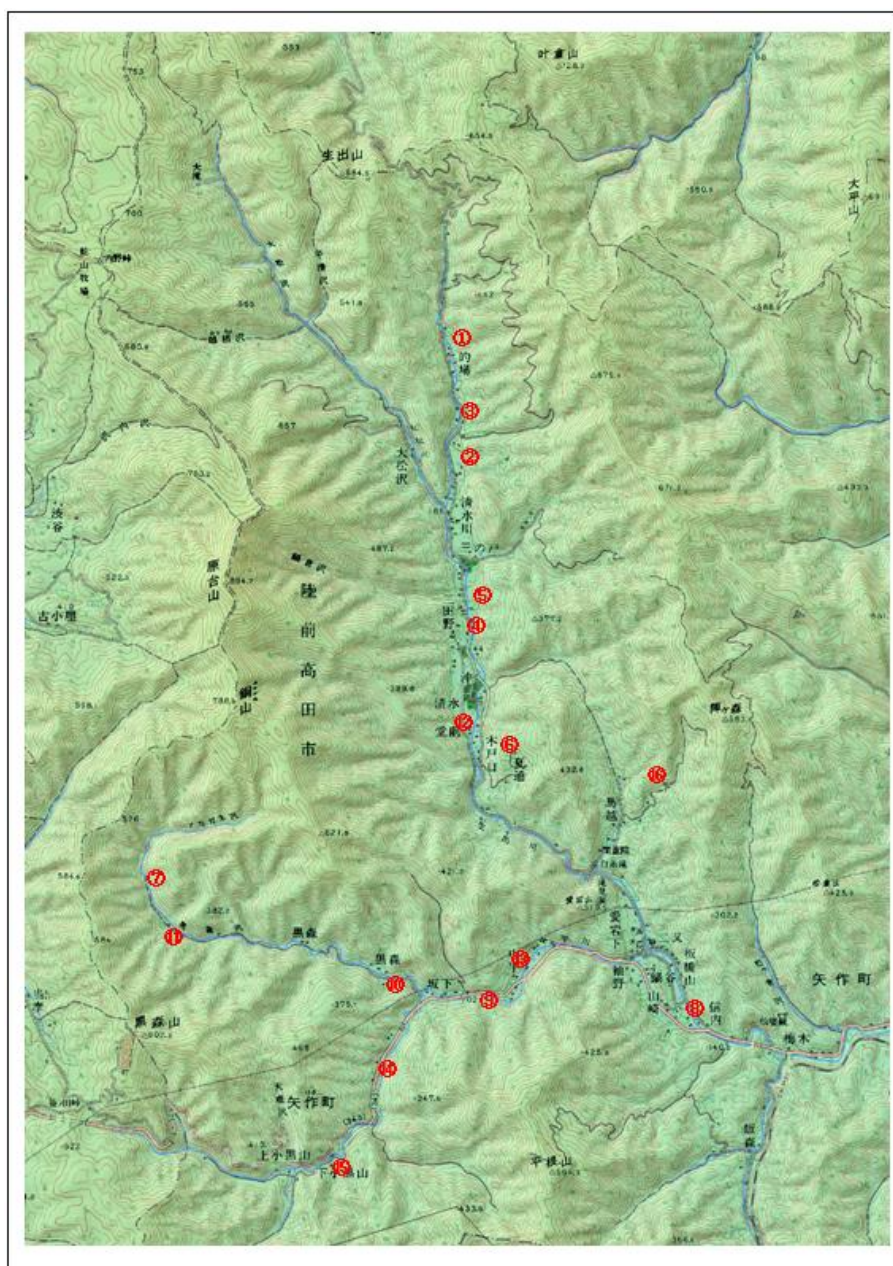


図 3-15 : 生出地区の製炭窯の数とその位置

3-4-2. 生出地区の製炭技術

生出地区の製炭技術は、岩手県内でも上位に位置する高品質の木炭を伝統的に生産していることから相応に高度なものと考えられる。

図 3-2 に生出地区における製炭時の代表的温度管理グラフを示した。これは、地域の製炭の匠 8 名より聞き取り調査した結果であり、概ね二つのパターンに区分できた。180[°C]前後帯域での脱水機能維持時間軸の取り方ならびに脱水から精煉帯域に温度上昇する際の温度勾配も重要とされている。なお、この温度管理技術は、窯の規模に左右されず、**温度管理条件が同じであれば大型窯においても同一の傾向になると考えられる**。この温度管理は、製炭窯の排気の色調で判断する製炭者（匠）の基本的技術であり、地域内に伝承されている。

従って、従来地域になかった大型製炭窯を導入する場合、その運用を地域の労働力・技術に委ねることから、図 3-16 に示す温度管理方式は、踏襲しなければならない重要事項と考えられる。

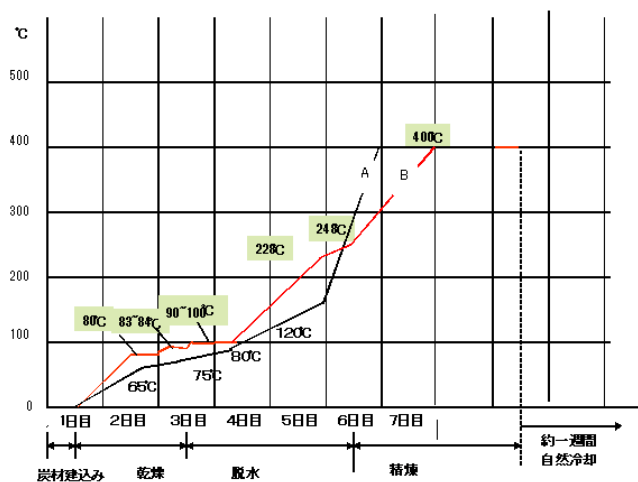


図 3-16：生出地区における岩手窯による製炭時温度管理

3-4-3. 炭窯調査の比較

調査した炭窯についての比較を図 3-17・3-18 に示す。

片岡林業多連窯の中規模窯（30 俵前後）から、奥矢作森林塾における国内最大級（約 60 m³）まで、種々の窯を見ることができた。

岩手県木炭協会指導の岩手大量窯ならびに葛巻町森林組合の大型岩手窯を除く 3 つの事例においては、立込み・窯出し作業の改善を目的に半自動化している。中でも製炭作業に労働環境面の改善とその省力化を目的とした、窯上部を開閉する方式による立込み・窯出しの半自動化は特筆される。

図 3-16 に見る温度管理作業時間は製炭窯の規模に無関係で一定時間を必要とするものであることから、規模としては大型窯に優位性がある。従って、炭材の採取、ならびにその前処理の地域性に対応し、可能な限り一窯あたりの立込み量を大量化し、生産量の向上を図る必要があることが分かった。前述の生出地区における製炭の地域特性を踏まえ、これらの調査結果をもとに最適な炭窯を考察する。

	下川町方式		恵那(奥矢作森林塾)式	
	窯の構造	全体システム・運用	窯の構造	全体システム・運用
特色	①設置場所の選択性高い(屋内型、全天候型、大型コンテナ型可) ②現存の汎用技術で容易に設計製作可能 ③窯内壁の耐火煉瓦部などの部分修復可能 ④立込み・窯だし用コンテナ台車の定期的更新により、その維持管理が容易で作業性高い	①副産物であるタールの有効利用 ②小径木(タイル含浸後)製炭時排気利用の燻製処理 ⇒高性能防腐製品化 ③地域生態系(森林)の修復への貢献性高い	① 燃烧(焚込み部)独立型で乾燥工程の火力調整(燃烧物投入)容易 ②立込み・窯だしが容易で汎用性高い(体制・専用機材の整備前提)	①ダムへ流入する流木処理であるため、集材～製炭の全体的流れ良好(炭材採集の非必要性) ②長尺・大径木をの前処理不要
課題	①直方体型であり、コンテナ積載挿入につき炭材群と窯内壁間の隙間が存在し、窯内高温気流の熱的不均一性大⇒製炭不均一、内壁の部分的傷み・破損性高い ②立込み炭材の長さ・径に制限あり前処理必要 ③立込み・窯だし作業時コンテナへの積載ならびに取り出し作業必要	①焚きこみ作業時の(燃烧材追加など)高温輻射熱下の作業環境性低い	①重量物(本体)であり設置場所の選択性低い(地耐力・地盤改造必要性) ②蓋部の構造完成度低く、運用性・耐久性低い ③設計製作の容易性はあるが、耐熱性維持性低い⇒耐熱鉄筋コンクリートの部分修復不可で定期的全体更新で費用大 ④副産物の回収構造・排煙処理の方式に改良が必要	①地域生態系(森林)の修復には貢献せず、生態系修復後はシステムの持続性低い ②立込み・窯だし用重機と熟練オペレータの常備的調達の困難性(含費用) ③流木などを間欠的集中大量搬送・ストックのための搬送路・一時貯蔵スペース必要

	栃木県市貝町・片岡林業5連配置型(30億前後)		岩手県九戸村 澤口由次郎氏大型窯	
	窯の構造	全体システム・運用	窯の構造	全体システム・運用
特色	① 大谷石利用により製作が容易で構造的硬度に優れる特色を有する ②作業性改善のため上部着脱可能な蓋構造。粘土質の土で養生。 ③専用グラブ利用による製炭作業の合理化・コンテナ搭載による立込みも一部採用 ④炭材の樹種・サイズを管理し、高級炭生産に特化	①炭材調達に特色があり炭材生産から一貫した生産システムを探っている。ただし、福島原発の被害で炭材を遠地調達している現状もある ②同一建屋内に5基の窯を設け、作業の合理化を図っている ③高級木炭『下野菊花炭』の品質維持に注意した全体経営を図っている	①窯主体部が円形となっていることから、製炭時の窯内の気流伝搬性に優れると考えられる ②窯本体を耐火煉瓦積構造としている点から、本体の耐火的寿命性・部分的補修の容易性に優れると見られる ③円形状の鋼板製蓋構造を採用している	①元々鉄工所であったため、天井クレーンを有し、重い鉄蓋の開閉を可能としているという優位性がある。また、鉄工所の技術から耐用性に優れた大型の鉄蓋の製作を可能とした。
課題	①上部蓋の耐久性に改善の余地があると考えられる ②大谷石の安価での入手が他の県でも容易か検討が必要 ③大谷石の高温状況下での利用における耐久性について追加調査が必要	①副産物の回収(検討) ②高級木炭の生産を代々伝承してきた歴史的技術という背景が大きい	①窯本体内壁が耐火煉瓦構造で上部蓋は金属製であり、製炭工程の乾燥帯域で大量に発生する水蒸気含浸的作用がないと考えられる ②円形状かつ大型の蓋製作のコストを検討する必要がある ③耐火煉瓦内壁構築の材料調達、築炉技術的作業費用のコスト性	①天井クレーンの設備を揃えるにはコストがかかる ②天井クレーンを有しない場合に同一規模の大型窯をどうやって運用するか検討が必要

図 3-17 : 調査した炭窯の比較①

	大量岩手窯(100~150俵)・葛巻森林組合大型窯								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>窯の構造</th> <th>全体システム・運用</th> </tr> </thead> </table>	窯の構造	全体システム・運用						
窯の構造	全体システム・運用								
特色	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>①設置場所の選択性高い(簡易建屋、本体部仮設的屋根)</td> <td>①中山間地の地域性(地勢・社会)に整合し、伝統的建設・運用手法を生かせる</td> </tr> <tr> <td>②伝統的岩手窯の基本構造により、炭材群と窯内壁間の隙間がほとんどなく窯内高温気流の熱的均一性良好で良質の製炭可</td> <td>②地域生態系(森林)の修復への貢献性高い</td> </tr> <tr> <td>③地域の資材・労働力(人材・技術力)を生かせ、部分修復ならびに定期的更新容易</td> <td>③地域性に整合し小さいながら地域雇用創出に貢献</td> </tr> <tr> <td></td> <td>④地域の地形に合わせ炭材の集荷の合理性確保の容易性大</td> </tr> </tbody> </table>	①設置場所の選択性高い(簡易建屋、本体部仮設的屋根)	①中山間地の地域性(地勢・社会)に整合し、伝統的建設・運用手法を生かせる	②伝統的岩手窯の基本構造により、炭材群と窯内壁間の隙間がほとんどなく窯内高温気流の熱的均一性良好で良質の製炭可	②地域生態系(森林)の修復への貢献性高い	③地域の資材・労働力(人材・技術力)を生かせ、部分修復ならびに定期的更新容易	③地域性に整合し小さいながら地域雇用創出に貢献		④地域の地形に合わせ炭材の集荷の合理性確保の容易性大
①設置場所の選択性高い(簡易建屋、本体部仮設的屋根)	①中山間地の地域性(地勢・社会)に整合し、伝統的建設・運用手法を生かせる								
②伝統的岩手窯の基本構造により、炭材群と窯内壁間の隙間がほとんどなく窯内高温気流の熱的均一性良好で良質の製炭可	②地域生態系(森林)の修復への貢献性高い								
③地域の資材・労働力(人材・技術力)を生かせ、部分修復ならびに定期的更新容易	③地域性に整合し小さいながら地域雇用創出に貢献								
	④地域の地形に合わせ炭材の集荷の合理性確保の容易性大								
課題	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>①焚きこみ作業時の(燃焼材追加など)高温輻射熱下の作業環境性低い</td> <td>①伝統的窯建設ならびに運用者(匠)の減少⇒育成急務</td> </tr> <tr> <td>②立込み・窯出しの労働環境性低い⇒改良の必要性あり(半自動化可能(検討中))</td> <td>②副産物の回収構造の改良</td> </tr> <tr> <td></td> <td>③排煙処理・副産物回収システム装着必要</td> </tr> </tbody> </table>	①焚きこみ作業時の(燃焼材追加など)高温輻射熱下の作業環境性低い	①伝統的窯建設ならびに運用者(匠)の減少⇒育成急務	②立込み・窯出しの労働環境性低い⇒改良の必要性あり(半自動化可能(検討中))	②副産物の回収構造の改良		③排煙処理・副産物回収システム装着必要		
①焚きこみ作業時の(燃焼材追加など)高温輻射熱下の作業環境性低い	①伝統的窯建設ならびに運用者(匠)の減少⇒育成急務								
②立込み・窯出しの労働環境性低い⇒改良の必要性あり(半自動化可能(検討中))	②副産物の回収構造の改良								
	③排煙処理・副産物回収システム装着必要								

図 3-18：調査した炭窯の比較②

3-4-4. 炭材(間伐材)の水分

調査した窯の中で、現在スギを主として製炭を行っている窯はないため、本システムにおいて発電の炭材となるスギ間伐材について検証する。

スギの伐採時は含水率が 150[%]程度あり、伐採後 1 週間経ってもあまり変化はないとされている。また、乾燥した製材品でも 12~13[%]はある(注：陸前高田市森林組合元参事、菅野房雄氏への聞き取り調査による)。

間伐材の乾燥状態の容積重を約 $0.380[t/m^3]$ とした場合、含水率は 15[%]位と考えられる。また、含水率は、 $u=100(W-W_0)/W_0$ で表される。この場合、 u ：含水率[%]・ W ：ある水分状態での重さ、 W_0 ：全乾(全く水分がない)状態での重さを表す。

1) ここで、上述の情報に基づき、スギ間伐材を伐採後 1 週間後に製炭した場合、製炭時に炭材 $1[m^3]$ 当たり排出される水(水蒸気)の量を算出する

① 生木の含水率を 150[%]、乾燥時の含水率を 15[%]、全乾比重を 0.330 とする

② スギ間伐材の乾燥状態(15%)での容積重 W_{15} は

$$15=100(W_{15}-W_0)/W_0, \text{ ①より } W_0=0.330[t/m^3], W_{15}=0.380[t/m^3]$$

③ 伐採時の容積面 W_{150} は

$$150=100(W_{150}-W_0)/W_0 \Rightarrow W_{150}=0.825[t/m^3]$$

④ 従って、間伐材の水の絶対量は $W_{150}-W_0=0.495[t/m^3]$

2) 次に、生出地区の岩手窯でスギ間伐材を製炭した場合、一窯当たりの間伐材立込み量を試算する。

① 一窯当たり 450[kg]の炭を作れるとする。

② その収率を約 15[%](現地における重量比経験値) とすると、窯に立込む間伐材の量は、 $0.45[t]/0.15$ (収率) $\div 3.0[t]$ となる。

3) さらに、一窯当たりのスギ間伐材に含まれている水の絶対量を試算する。

① 上述の通り、製炭の乾燥段階で間伐材に含まれている水分を乾燥させる工程がある。

② 間伐材立込み時(採取から1週間以内)の総重量は 3.0[t] (2) ②より)

③ 立込み量 3.0[t]の容積は、1)③から $0.825[t/m^3]$ であるから、 $3.0[t]/0.825[t/m^3] = 3.636[m^3]$ となる。なお、これは大型窯の容量計算にも使用できる。

④ 水の絶対量は、1)④から、 $3.636[m^3] \times 0.495[t/m^3] \div 1.80[t]$ となる。

4) この水 1.80[t]が製炭時に全て水蒸気として排出されることになる。この水蒸気量の容積は約 1,700 倍 ($1,244.4[CC/g-H_2O \times 1.355]$) になることから、

① $1.80[t] \div 1.80[m^3]$ 、 $1.80[m^3] \times 1700 \div 3,060[m^3]$ (200ℓ ドラム缶約 15,300 本分)

例として 150 俵規模の大型窯の場合、2) ①の 450[kg]は 30 俵規模であることから、その水蒸気量は、

$2,300[m^3] \times 150[俵]/30[俵] \div 15,300[m^3]$ となり、膨大なものとなる。

【結果考察】

3-4-5. 最適な炭窯の提案

1-1-2 項で述べた通り、生出地区の林地修復には、向こう 10 年間、広葉樹 3,100[m³/年]、針葉樹 6,800[m³/年]の間伐・抜き伐りを行う必要があり、十分な炭材がある。しかし、休止中の物を含め、現在生出地区に存在する全ての炭窯を稼働させてもとても活用しきれない量である上、従来の窯では労働環境等の面から対応しきれない。そこで新たな形式の大型窯を検討した。

製炭時には、上述した水分(水蒸気)と木酢液成分ならびにタール成分が混合排煙状態で排出されるため、大型窯の設置・運用にあたり、初期段階から排煙対策を十分取る必要がある。排煙については、恵那の大型窯も運転開始時に大変苦労したとのことであった。地域の炭焼きの匠から聞き取り調査を行い、地形も考慮して排煙のシステムを構築したとのことである。この点から、北海道下川町における大型窯に併設されている、タール含浸装置ならびに燻煙処理装置は学ぶべき方法として特筆されると考える。

調査結果を生かし、さらに新規性に富む方式として、図 3-19 に示すような大型窯を提案する。

調査結果から取り入れる事項としては、①大谷石組立本体②着脱式上蓋、ただし耐火材取り付け型、③焚き口燃焼部別置方式、ただし、多機能型とする。④立て込み、窯出し作業の半自動化、専用クラップルを導入するものとする(リースなど)。

燃焼機能部と連結する、火炎吹き込み口を耐火製シャッター付きとし、本体密閉時は火炎用ダクトを必要に応じ取り外し可能とする。

大型窯本体上部端面外サイド四方周辺に水樋を設け、耐火耐熱材貼り鋼板製上蓋四方周辺下方向に水没部を設け、密閉機能を容易確保するものとする。なお、水樋内の水位を管理し、密閉機能十分維持するものとする。

焚き口燃焼部、燃焼機能部、耐火レンガ内壁貼り鋼板製、可搬型、簡易温水器付き方式、火炎ダクト着脱可能式、製炭しないときは温水器ならびに暖房器的利用すること可能とする。

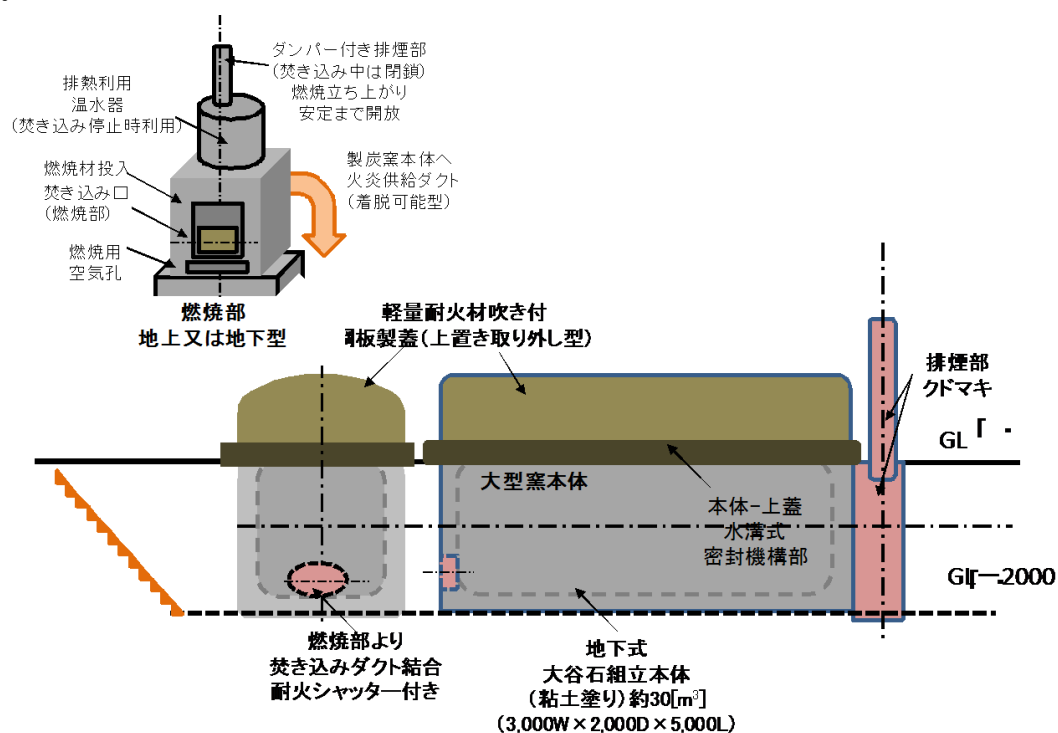


図 3-19 : 大型製炭窯 (案) 概要図

この案を基本に、地域住民と議論を重ね、本システムの核となる新たな炭窯を設置したい。

4. 今後の展望

今年度は他の実施項目との兼ね合いでガス組成分析を行える回数が限られてしまった。システムをより詳細に検証するには、温度や炭の種類といった条件を変えたガス発生と比較が重要となってくるため、今後はガス組成分析回数を増やすためにガス分析機を購入し、自社ですぐにガス分析ができるような体制を整えて検証数を増やし、適正な水量や反応温度を確立させていきたい。

なお、来年度は実装地（陸前高田市生出地区）での大型炭窯（本事業で提案する地域エネルギー供給用）の設置及びより発電規模の大きい燃料電池での発電の検証を目指している。まずは今年度の結果を踏まえてよりガス発生量の検証を増やして最適な条件を確立させる。また、発電効率を上げるために、水性ガスの成分の一つである CO を過熱水蒸気で再度改質して水素を発生する付帯装置についても計画している。

今年度のガス発生でも生出地区から供給された木炭を用いているが、実際に地域へのエネルギー供給を行うにあたっては現在の木炭生産量ではとても賄えない。そのため、間伐を促進し、地域の活性化に貢献できる手段として新しい形式の大型炭窯を考えている。新たな炭窯を製作し製炭できるようになった際には、今年度製作した木炭水性ガス発生装置を実装地に持ち込み、その炭窯で製炭された炭を用いて実際に水性ガスの発生・発電を行うことを目指している。現地での実使用による問題点及び改善点を抽出すると共に木炭の供給体制等の仕組みを確立させて、誰にでも使いやすいシステムを構築したい。

また燃料電池については、今年度の実験成果を踏まえ、適切な水素精製システムの再構築を検討する必要がある。その上で、今回製造した固体高分子型・1[kW]クラスを発展させ、非常用発電機としても利用性の高い10~20[kW]程度の物の製作を計画している。今年度行った改質装置の工夫を踏まえ、集落に供給できる規模でのシステム開発を目指す。

最終的には本システムを実装することでコミュニティグリッドの確立を目標としている（図 1-1 参照）。地域の住民の手でシステムを稼働させることができ、それが小規模ながら地域の雇用創出・地域振興に貢献すると共に無理のない範囲の材を利用することで地域の二次自然が修復され、その後は持続的に安定する。

これを『生出モデル』として、林地の再生・地域生態系の修復を進めながら、非常時にも強い地域内の日常の電力自給体制を構築し、全国の中山間地域に普及させていきたい。